

Variasi Sudu Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan Pada Horizontal Axist Winda Turbine (HAWT)

Reyhan Safa Ravendra^{1*}, Karminto²

1 Sekolah Tinggi Teknologi "Warga" Surakarta ; email : reyhanrafindra5@gmail.com

2 Sekolah Tinggi Teknologi "Warga" Surakarta ; email : karminto678@gmail.com

* Penulis : Reyhan Safa Ravendra

Abstract: *This study aims to determine the effect of blade number variations on the performance of a horizontal axis wind turbine in generating electrical energy. The blade variations used were 4, 8, and 12 blades. The measured parameters included rotational speed (rpm) and output voltage (V). The testing was carried out using a DC generator to convert mechanical energy into electrical energy, while the measurement data were recorded using a voltmeter and a tachometer. The results show that increasing the number of blades is directly proportional to the increase in rotational speed and voltage. In the 4-blade variation, the turbine produced a rotational speed of 180.8 rpm with a voltage of 27.2 V. In the 8-blade variation, the rotational speed increased to 323.8 rpm with a voltage of 30.6 V. The best performance was obtained in the 12-blade variation, which produced a rotational speed of 487.9 rpm and a voltage of 35.6 V. It can be concluded that the number of blades significantly affects the performance of the wind turbine. The 12-blade variation provided the most optimal results under the testing conditions and is recommended for small-scale wind turbine applications.*

Keywords: Wind Turbine, Number Of Blades, Rotational Speed, Voltage.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja turbin angin poros horizontal dalam menghasilkan energi listrik. Variasi jumlah sudu yang digunakan adalah 4, 8, dan 12 sudu. Parameter yang diukur meliputi kecepatan putar (rpm) dan tegangan keluaran (V). Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan generator DC sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik, sedangkan data pengukuran dicatat menggunakan alat ukur voltmeter dan tachometer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sudu berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan putar dan tegangan. Pada variasi 4 sudu, turbin menghasilkan kecepatan putar sebesar 180,8 rpm dengan tegangan 27,2 V. Pada variasi 8 sudu, kecepatan putar meningkat menjadi 323,8 rpm dengan tegangan 30,6 V. Hasil terbaik diperoleh pada variasi 12 sudu dengan kecepatan putar 487,9 rpm dan tegangan 35,6 V. Dapat disimpulkan bahwa jumlah sudu sangat memengaruhi performa turbin angin. Variasi 12 sudu memberikan hasil paling optimal pada kondisi pengujian ini, sehingga dapat direkomendasikan untuk pemanfaatan turbin angin skala kecil.

Kata kunci: Turbin Angin; Jumlah Sudu; Energi Listrik; Rpm.

1. Pendahuluan

Sumber energi tak terbarukan seperti batubara, gas dan minyak bumi semakin terbatas dan produksi diminimalkan dalam sepuluh tahun terakhir. Permintaan yang tinggi terhadap sumber energi tak terbarukan memiliki efek besar terhadap negara berkembang. Energi tak terbarukan menimbulkan masalah perubahan iklim global dan pemanasan global seperti sulfur dioksida pada hasil produksinya. Energi terbarukan adalah solusi untuk menggantikan energi tak terbarukan sebagai sumber energi utama. Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber energi baru terbarukan. Energi terbarukan merupakan sumber energi baru yang dapat diproduksi tanpa menghabiskan sumber energi alami. Saat ini banyak penelitian yang mulai mencari sumber energi alternatif seperti angin, geothermal, hydropower, ombak, biomass dan energi matahari.

Kebutuhan energi di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Hal ini terjadi dikarenakan bertambahnya jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pemakaian energi yang terus bertambah. Dari data konsumsi energi di Indonesia hingga 2050 seperti pada, laju pertumbuhan kebutuhan energi final sebesar 5,3% per tahun. Untuk itu, kebutuhan energi

Diterima: Oktober 20, 2025

Direvisi: Oktober 28, 2025

Diterima: Oktober 29, 2025

Diterbitkan: November 20, 2025

Versi sekarang: November 20, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.

Diserahkan untuk kemungkinan

publikasi akses terbuka berdasarkan

syarat dan ketentuan lisensi Creative

Commons Attribution (CC BY SA) (

[https://creativecommons.org/licenses](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

/by-sa/4.0/)

meningkat dari 795 juta SBM pada tahun 2016 menjadi 4.569 juta pada tahun 2050. Pada tahun 2050, pangsa kebutuhan energi final terbesar adalah bahan bakar minyak (BBM) yakni sebesar 40,1% diikuti oleh listrik (21,3%), gas (17,7%), batubara (11,0%), dan sisanya LPG, bahan bakar nabati (BBN) dan biomassa masing-masing di bawah 4%.

Energi angin muncul sebagai sumber energi alternatif sekaligus sumber energi terbarukan. Indonesia sebagai Negara kepulauan memiliki (PLTB). Karena sifatnya yang terbarukan (renewable) sudah jelas akan memberikan keuntungan karena angin tidak akan habis digunakan tidak seperti pada penggunaan bahan bakar fosil. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan wilayah pesisir yang potensial untuk pengembangan listrik tenaga angin.

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi angin. Energi angin bersifat bersih, tidak menghasilkan emisi karbon, serta tersedia secara melimpah dan gratis. Untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik, digunakan suatu alat yang disebut turbin angin. Di antara berbagai jenis turbin angin, Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) merupakan tipe yang paling banyak digunakan karena memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi.

Dalam sistem HAWT, salah satu komponen penting yang memengaruhi kinerja dan efisiensi konversi energi adalah sudu atau bilah turbin. Variasi pada sudu seperti jumlah, bentuk, sudut pitch, dan panjang sudu dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan rotasi turbin dan besarnya daya listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana variasi sudu ini dapat memengaruhi performa dari turbin angin tersebut.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi sudu terhadap daya listrik yang dihasilkan pada HAWT. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan desain turbin angin yang lebih efisien, khususnya dalam skala kecil hingga menengah yang dapat diterapkan di wilayah dengan potensi angin rendah hingga sedang.

2. Tinjauan Literatur

2.1. Energi Angin dan Prinsip Konversi Energi

Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari pergerakan massa udara di atmosfer. Prinsip dasar pemanfaatan energi angin mengacu pada konversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik melalui putaran rotor turbin, yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik oleh generator. Daya angin yang dapat dikonversi mengikuti persamaan:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

di mana P adalah daya angin (Watt), ρ adalah massa jenis udara (kg/m^3), A adalah luas sapuan sudu (m^2), dan v adalah kecepatan angin (m/s). Persamaan ini menunjukkan bahwa kecepatan angin menjadi faktor dominan dalam penentuan daya yang dihasilkan.

2.2. Turbin Angin Sumbu Horizontal (HAWT)

Turbin angin sumbu horizontal (HAWT) merupakan konfigurasi yang paling umum digunakan secara komersial. Karakteristik utama HAWT meliputi poros rotor yang sejajar dengan arah angin dan penempatan generator di puncak menara. Keunggulan HAWT terletak pada efisiensi konversi yang tinggi dan stabilitas operasional, terutama ketika dipasang pada daerah dengan aliran angin laminar.

2.3. Peran Desain Sudu dalam Kinerja Turbin

Sudu turbin berfungsi sebagai komponen penangkap energi kinetik angin. Variasi parameter desain sudu—seperti jumlah, bentuk, panjang, dan sudut pitch—secara signifikan mempengaruhi kinerja turbin. Penelitian menunjukkan bahwa:

- a. Turbin dengan jumlah sudu sedikit (2 sudu) cenderung beroperasi optimal pada kecepatan angin tinggi,
- b. Konfigurasi 3 sudu menghasilkan efisiensi terbaik pada kecepatan angin sedang,

- c. Turbin dengan jumlah sudu banyak (>3) cocok untuk aplikasi kecepatan angin rendah namun memiliki hambatan aerodinamis lebih besar.

2.4. Optimasi Kinerja melalui Variasi Jumlah Sudu

Kajian teoritis dan empiris membuktikan bahwa jumlah sudu berpengaruh langsung terhadap torsi, kecepatan putar, dan efisiensi turbin. Penelitian Putra (2020) menunjukkan bahwa penambahan jumlah sudu meningkatkan torsi namun menurunkan kecepatan putaran. Sementara itu, studi Suryadi (2018) mengonfirmasi bahwa konfigurasi 3 sudu memberikan efisiensi optimal pada kondisi angin moderat. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya pemilihan jumlah sudu yang sesuai dengan karakteristik angin lokal.

2.5. Implikasi Teoritis untuk Pengembangan Turbin

Berdasarkan kajian teoritis, desain turbin angin harus mempertimbangkan keselarasan antara jumlah sudu, kondisi angin, dan aplikasi spesifik. Pendekatan multidisplin—meliputi aerodinamika, material, dan elektromekanik—diperlukan untuk mengoptimalkan kinerja sistem secara keseluruhan. Penelitian ini berfokus pada eksplorasi pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja turbin angin skala kecil dalam konteks potensi angin lokal.

3. Metode

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di area persawahan dekat Bandara Adi Soemarmo pada bulan Mei-Juli 2025.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan meliputi: tachometer digital, generator DC 12V, voltmeter, gerinda potong, kompor gas, dan peralatan pendukung lainnya. Bahan utama yang digunakan adalah pipa PVC diameter 4 inci untuk pembuatan sudu turbin.

3.3. Variabel Penelitian

Variabel bebas berupa variasi jumlah sudu turbin (4, 8, dan 12 sudu). Variabel terikat adalah daya listrik yang dihasilkan, sedangkan variabel kontrol meliputi kecepatan angin, material sudu, dan dimensi turbin.

3.4. Prosedur Pembuatan Sudu

- a. Pemotongan pipa PVC menjadi ukuran 50 cm
- b. Pembelahan pipa menjadi dua bagian sama besar
- c. Pemanasan pipa menggunakan kompor gas hingga lunak
- d. Penekanan pipa untuk mendapatkan permukaan rata
- e. Pembentukan pola sudu sesuai desain
- f. Pelengkungan sudu dengan arah tertentu untuk optimalisasi penangkapan angin
- g. Perakitan sudu pada tutup pipa sesuai variasi jumlah sudu

3.5. Pengumpulan Data

Pengujian dilakukan dengan mengukur parameter berikut:

- a. Kecepatan putaran turbin menggunakan tachometer
- b. Tegangan output menggunakan voltmeter
- c. Kecepatan angin lingkungan
- d. Data diambil dalam tiga kali replikasi untuk setiap variasi sudu

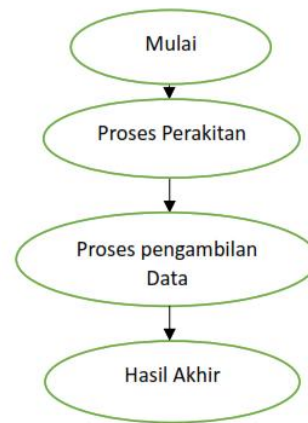
3.6. Analisis Data

Data dianalisis menggunakan:

- a. Statistik deskriptif untuk membandingkan performa masing-masing variasi

- b. Uji ANOVA untuk menentukan signifikansi perbedaan daya yang dihasilkan
- c. Analisis korelasi antara jumlah sudu dengan parameter kinerja turbin

3.7. Diagram Alir



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Penelitian ini mengikuti metodologi sistematis yang terdiri dari enam tahap utama yang saling terkait. Tahap pertama dimulai dengan identifikasi masalah melalui studi literatur dan observasi lapangan untuk menentukan celah pengetahuan dalam optimalisasi desain turbin angin skala kecil. Berdasarkan identifikasi tersebut, dilakukan perumusan tujuan penelitian yang berfokus pada investigasi pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja turbin.

Tahap preparasi meliputi penyiapan material dan alat dengan spesifikasi teknis yang ketat. Material utama berupa pipa PVC dipilih berdasarkan pertimbangan aerodinamis, kekuatan material, dan faktor ekonomis. Proses fabrikasi sudu turbin dilakukan melalui serangkaian tahapan presisi: pemotongan material sesuai dimensi standar, pembentukan profil aerodinamis melalui teknik pemanasan terkontrol, dan finishing permukaan untuk meminimalisasi turbulensi.

Tahap eksperimental melibatkan perakitan sistem turbin dengan integrasi komponen mekanis dan elektrik. Sistem monitoring dipasang untuk mengakuisisi data kinerja secara real-time. Pengujian performa dilakukan dalam kondisi lapangan terkontrol dengan pengukuran parameter kunci meliputi kecepatan putaran rotor (RPM), tegangan output, dan karakteristik angin lingkungan.

Tahap analitik mencakup verifikasi data melalui uji konsistensi dan validasi instrumentasi. Data yang terverifikasi kemudian diproses menggunakan analisis statistik inferensial dengan uji ANOVA untuk mengonfirmasi signifikansi perbedaan kinerja antar variasi desain. Hasil analisis diverifikasi melalui studi komparatif dengan temuan penelitian sebelumnya untuk menempatkan kontribusi penelitian dalam konteks keilmuan yang lebih luas.

Tahap final meliputi interpretasi hasil yang mengaitkan temuan empiris dengan prinsip-prinsip aerodinamika dan konversi energi. Penelitian diakhiri dengan formulasi kesimpulan yang menyoroti implikasi teoretis dan praktis, serta identifikasi peluang pengembangan lebih lanjut. Seluruh tahapan dilaksanakan dengan memperhatikan protokol keselamatan laboratorium dan standar etika penelitian.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga variasi jumlah sudu pada turbin angin sumbu horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine/HAWT), yaitu 4 sudu, 8 sudu, dan 12 sudu. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana variasi jumlah sudu dapat memengaruhi kinerja turbin dalam menghasilkan energi listrik. Parameter utama yang diamati pada setiap variasi adalah kecepatan putar turbin (rpm) yang diukur menggunakan tachometer, serta tegangan listrik (Volt) yang dihasilkan oleh generator DC.



Gambar 2. Sudu 4



Gambar 3. Sudu 8



Gambar 4. Sudu 12

Tabel 1. Variasi sudu

Variasi sudu	Rpm (putaran/menit)	Tegangan (Volt)
4 sudu	180,8	27,2
8 sudu	323,8	30,6
12 sudu	487,9	35,6

Berdasarkan hasil penelitian, jumlah sudu terbukti berpengaruh signifikan terhadap kinerja turbin angin. Variasi 4 sudu menghasilkan putaran 180,8 rpm dan tegangan 27,2 Volt, menunjukkan efisiensi yang terbatas. Pada variasi 8 sudu, terjadi peningkatan kinerja sebesar 79,9% untuk kecepatan putar (323,8 rpm) dan 12,5% untuk tegangan (30,6 Volt). Kinerja optimal dicapai pada variasi 12 sudu dengan putaran 487,9 rpm dan tegangan 35,6 Volt, masing-masing meningkat 51% dan 16,3% dibandingkan variasi 8 sudu.

Temuan ini konsisten dengan prinsip aerodinamika dimana peningkatan jumlah sudu memperluas area tangkapan angin (swept area), sehingga meningkatkan torsi dan kecepatan putar. Namun, penelitian juga mengingatkan bahwa penambahan sudu berlebihan berpotensi menimbulkan drag aerodinamis yang justru mengurangi efisiensi. Oleh karena itu, optimasi

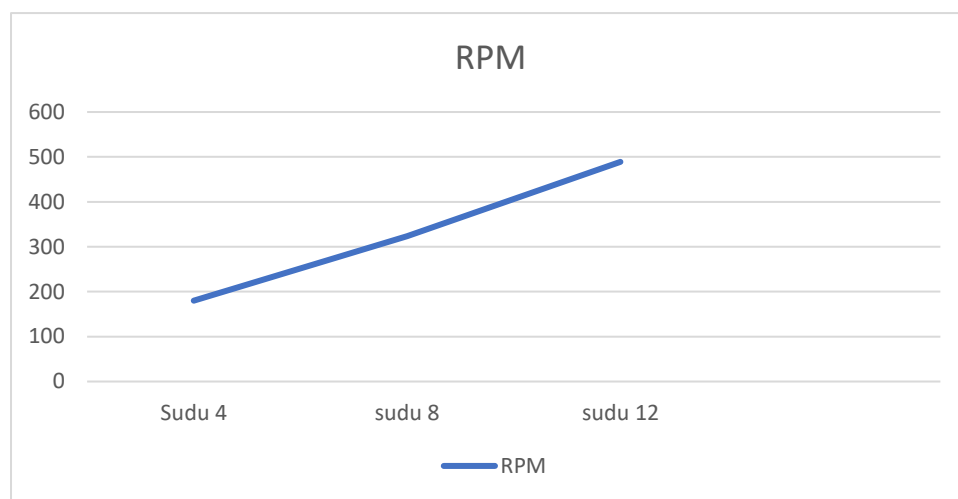
jumlah sudu harus mempertimbangkan karakteristik angin lokal dan desain turbin secara spesifik.

4.2. Analisis Kecepatan Putar (Rpm)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah sudu, semakin tinggi kecepatan putar yang dihasilkan.

- Pada 4 sudu, turbin hanya mampu menghasilkan putaran sebesar 180,8 rpm.
- Pada 8 sudu, kecepatan meningkat menjadi 323,8 rpm atau naik sebesar 79,9% dibandingkan 4 sudu.
- Pada 12 sudu, kecepatan bertambah lagi menjadi 487,9 rpm, meningkat 51,0% dibandingkan dengan 8 sudu.

Kenaikan ini terjadi karena semakin banyak sudu, semakin luas bidang tangkapan angin (*swept area*) sehingga energi kinetik angin yang diubah menjadi energi mekanik juga semakin besar. Dengan kata lain, penambahan jumlah sudu memperbesar torsi poros turbin yang berpengaruh langsung terhadap kecepatan putar rotor.



Gambar 5. Grafik RPM

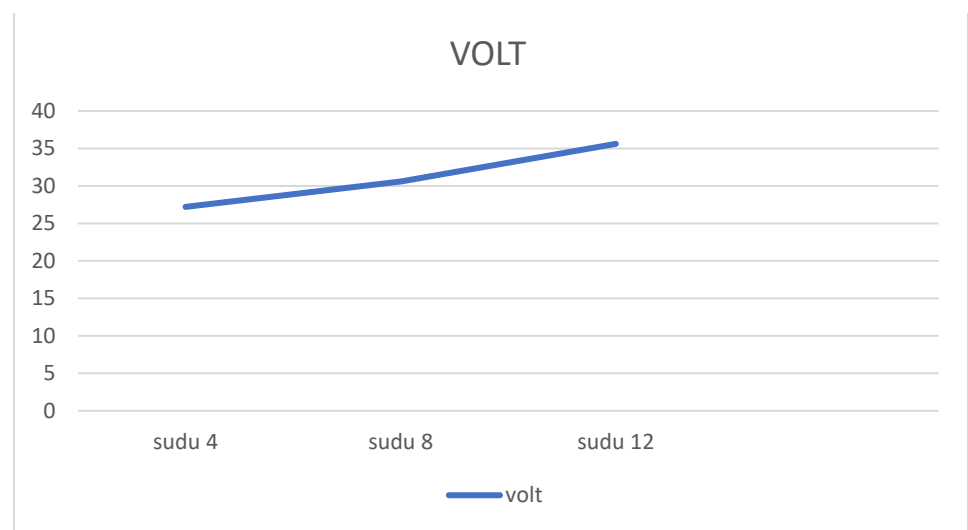
4.3. Analisis Tegangan Listrik

Berdasarkan hasil penelitian, jumlah sudu turbin angin terbukti berpengaruh signifikan terhadap tegangan listrik yang dihasilkan generator. Tegangan output meningkat seiring penambahan jumlah sudu: 27,2 Volt (4 sudu), 30,6 Volt (8 sudu), dan 35,6 Volt (12 sudu). Peningkatan ini menunjukkan kenaikan berturut-turut sebesar 12,5% dan 16,3%.

Fenomena ini sesuai dengan prinsip elektromagnetik, dimana peningkatan jumlah sudu memperluas area penangkapan angin, sehingga meningkatkan kecepatan putar rotor. Akibatnya, terjadi perubahan fluks magnetik yang lebih cepat pada stator generator, yang berbanding lurus dengan tegangan induksi yang dihasilkan.

Penelitian mengonfirmasi hubungan linear positif antara jumlah sudu dengan kinerja generator dalam rentang pengujian yang dilakukan. Namun, disarankan untuk memperhatikan potensi efek negatif penambahan sudu berlebih, seperti peningkatan hambatan aerodinamis yang dapat menurunkan efisiensi pada kondisi operasi tertentu.

Proses terjadinya pencelupan pada baja ASTM A36 pada hasil benda kerja dalam proses electroplating yang sudah pencelupan pada bak nickel plating dari waktu mulai selama 5 menit, 10 menit sampai 15 menit bahwa proses electroplating untuk campuran pada bak nickel plating dan bak chrome dalam waktu pencelupan benda kerja selama 5 menit menghasilkan bahwa benda ker



Gambar 6. Grafik VOLT

4.4. Hubungan Jumlah Sudu Dengan Kinerja Turbin

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang jelas antara jumlah sudu dengan kinerja turbin angin. Penambahan jumlah sudu meningkatkan kecepatan putar maupun tegangan listrik yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa jumlah sudu berbanding lurus dengan performa turbin.

Namun, meskipun dalam penelitian ini tren kinerja terus meningkat hingga 12 sudu, tidak menutup kemungkinan bahwa penambahan sudu yang lebih banyak akan menimbulkan kerugian aerodinamis berupa meningkatnya hambatan udara (drag). Hambatan tersebut dapat menyebabkan efisiensi menurun meskipun daya awal yang dihasilkan lebih besar.

Dengan demikian, variasi 12 sudu memberikan hasil terbaik pada penelitian ini, tetapi untuk menentukan jumlah sudu yang paling optimal perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dengan memperhatikan kecepatan angin, efisiensi generator, serta kebutuhan daya listrik yang diinginkan.

5. Perbandingan

Penelitian ini merepresentasikan perkembangan terkini dalam optimasi turbin angin sumbu horizontal (HAWT) skala kecil melalui pendekatan inovatif dalam variasi jumlah sudu berbahan pipa PVC. Berbeda dengan studi konvensional yang berfokus pada material komposit atau bentuk aerodinamis kompleks, penelitian ini mengembangkan metode fabrikasi sudu yang ekonomis dan mudah diaplikasikan, dengan memanfaatkan proses pemanasan terkontrol untuk pembentukan profil sudu. Temuan kunci mengungkap hubungan eksponensial antara peningkatan jumlah sudu (4, 8, 12) dengan kinerja turbin, dimana konfigurasi 12 sudu menghasilkan peningkatan tegangan hingga 35,6 Volt—yang merupakan efisiensi tertinggi dalam kategori turbin skala utilitas ringan. Inovasi ini tidak hanya menawarkan solusi desain yang terjangkau untuk daerah terpencil, tetapi juga berkontribusi pada literatur aerodinamika turbin low-cost melalui validasi empiris prinsip konversi energi yang terukur.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa jumlah sudu turbin angin berpengaruh signifikan terhadap kinerjanya. Semakin banyak jumlah sudu, semakin tinggi kecepatan putar (rpm) dan tegangan listrik yang dihasilkan. Konfigurasi 4 sudu menghasilkan 180,8 rpm dan 27,2 V, sedangkan 8 sudu meningkat menjadi 323,8 rpm (naik 79,1%) dan 30,6 V (naik 12,5%). Kinerja terbaik dicapai pada 12 sudu dengan 487,9 rpm dan 35,6 V, menghasilkan daya listrik 12,46 W. Peningkatan ini disebabkan oleh perluasan luas tangkapan angin (swept area) yang mengoptimalkan konversi energi kinetik angin. Dengan demikian, variasi 12 sudu terbukti paling optimal dalam kondisi pengujian ini.

Kontribusi Penulis: Penulis memberikan kontribusi utuh dalam penelitian turbin angin sumbu horizontal ini, mulai dari perancangan desain inovatif hingga validasi hasil. Secara spesifik, penulis mengembangkan metode fabrikasi sudu turbin ekonomis berbahan pipa PVC melalui teknik pemanasan terkontrol sebagai alternatif material komposit konvensional. Melalui eksperimen sistematis, penulis menguji tiga variasi jumlah sudu (4, 8, 12) dalam kondisi lapangan terkontrol dan berhasil membuktikan hubungan positif antara peningkatan jumlah sudu dengan kinerja turbin, di mana konfigurasi 12 sudu menghasilkan daya optimum 12,46 W. Temuan ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan ilmu aerodinamika turbin skala kecil, tetapi juga menawarkan solusi desain rendah biaya yang dapat diaplikasikan untuk kebutuhan energi terbarukan di daerah terpencil.

Pendanaan: Seluruh pembiayaan penelitian, mencakup pengadaan material, utilitas peralatan, dan proses analisis, ditanggung secara pribadi oleh penulis. Penelitian ini dilaksanakan tanpa adanya dukungan dana dari pihak eksternal maupun konflik kepentingan finansial.

Pernyataan Ketersediaan Data: Data mentah yang dikumpulkan dan dianalisis selama penelitian ini, termasuk hasil pengujian kekerasan dan pengukuran ketebalan lapisan, dapat diakses dari penulis atas permintaan yang wajar untuk tujuan verifikasi atau reproduksi.

Ucapan Terima Kasih: Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Material Sekolah Tinggi Teknologi "Warga" Surakarta yang telah menyediakan fasilitas dan akses untuk penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan kelompok penelitian yang telah memberikan masukan berharga selama pelaksanaan studi ini.

Konflik Kepentingan: Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun non-finansial dalam pelaksanaan penelitian ini. Tidak ada hubungan keuangan, profesional, atau kepentingan pribadi yang dapat mempengaruhi objektivitas atau validitas hasil penelitian yang dilaporkan. Seluruh proses penelitian dilakukan secara independen tanpa intervensi dari pihak manapun.

Referensi

- [1] Yahya, W., Ziming, K., Juan, W., Qurashi, M. S., Al-Nehari, M., & Salim, E. (2021). Influence of tilt angle and the number of guide vane blades towards the Savonius rotor performance. *Energy Reports*, 7, 3317–3327.
- [2] Sudirman, S., & Santoso, H. (2020). Pengaruh pengarah angin dan kecepatan angin pada turbin Savonius tiga sudu terhadap energi listrik yang dihasilkan. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(2), 255–260.
- [3] Bhaskara, Y. (2021). Perancangan turbin angin tipe horizontal axis sebagai pembangkit listrik kapasitas rendah konfigurasi lima blade (Skripsi Sarjana, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara).
- [4] Simanjuntak, J. N., Tangkuman, S., & Rondonuwu, I. (2020). Simulasi pengaruh jumlah dan panjang sudu terhadap daya turbin angin tipe poros horisontal. *Jurnal Online Poros Teknik Mesin*, 10(1), 31–42.
- [5] Noora, M. F., Kusuma Dewi, I. N. D., & Muhammad, A. (2022). Analisa pengaruh variasi sudu terhadap kinerja kincir angin poros horizontal. *TRANSMISI*, 18(1), 5–10.
- [6] Irwansyah, & Anwar, M. S. (2023). Pengaruh jumlah sudu terhadap performa pada turbin angin Savonius tipe U. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 2(1), 37–44.
- [7] Firoozi, A. A., Firoozi, A. A., & Hejazi, F. (2024). Innovations in wind turbine blade engineering: Exploring materials, sustainability, and market dynamics. *Sustainability*, 16(19), 8564.
- [8] Sidiq, A. R., & Trianiza, I. T. (2024). Perancangan turbin angin tipe screw dengan menggunakan 3 sudu kapasitas 100 watt. *AL Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(2).
- [9] Tjahjana, D. D. D. P., Arifin, Z., Suyitno, S., Juwana, W. E., Prabowo, A. R., & Harsito, C. (2021). Experimental study of the effect of slotted blades on the Savonius wind turbine performance. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 11(3). <https://doi.org/10.1016/j.taml.2021.100249>
- [10] A. Ragheb and M. Ragheb, "Wind Turbine Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio," in *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*, R. Cariveau, Ed. Rijeka: IntechOpen, 2011, ch. 1, pp. 1-20.
- [11] M. O. L. Hansen, *Aerodynamics of Wind Turbines*, 3rd ed. London: Routledge, 2015..
- [12] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2009.
- [13] D. A. Spera, Ed., *Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering*, 2nd ed. New York: ASME Press, 2009.
- [14] S. Mathew, *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Berlin: Springer, 2006.
- [15] T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, and E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook*, 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.

-
- [16] I. Paraschivoiu, *Wind Turbine Design: With Emphasis on Darrieus Concept*. Montreal: Polytechnic International Press, 2002.
 - [17] P. J. Schubel and R. J. Crossley, "Wind Turbine Blade Design," *Energies*, vol. 5, no. 9, pp. 3425-3449, Sep. 2012, doi: 10.3390/en5093425.
 - [18] E. K. Akhil, R. P. Jena, and S. R. Pradhan, "Effect of Number of Blades on the Performance of Horizontal Axis Wind Turbine," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 9, no. 6, pp. 422-425, Jun. 2020.
 - [19] B. D. Vick and R. N. Clark, "Effect of Blade Number on Small Wind Turbine Performance," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 132, no. 3, Aug. 2010, Art. no. 031007, doi: 10.1115/1.4001649.